

Docket No.: 50395-267

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Toshiaki OKUNO	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: April 09, 2004	:	Examiner: Unknown
	:	
For: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM	:	

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:


In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application No. 2003-117276, filed April 22, 2003

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY



Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:tlb
Facsimile: (202) 756-8087
Date: April 9, 2004



50395-267
OKUNO
April 9, 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

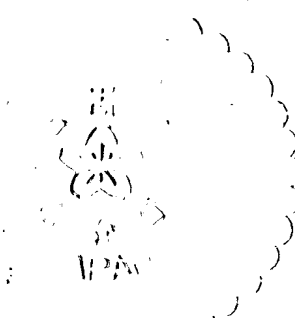
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 4 月 2 2 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 1 7 2 7 6
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 1 1 7 2 7 6]

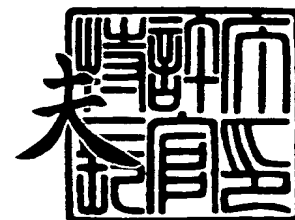
出 願 人 住 友 電 気 工 業 株 式 会 社
Applicant(s):



2 0 0 4 年 1 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 3 0 4 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0060

【提出日】 平成15年 4月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社横浜製作所内

 【氏名】 奥野 俊明

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

 【識別番号】 100092657

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

 【識別番号】 100110582

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 直接変調により信号光を生成し、生成した前記信号光を出力する直接変調光源と、

中継区間における主たる光伝送路を構成し、前記直接変調光源が出力した信号光を伝送する光ファイバとを備え、

前記光ファイバは、所定の信号光波長における波長分散値が負であり、且つ前記所定の信号光波長における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】 前記光ファイバによって伝送される前記信号光は、 40 nm 以上の波長帯域に渡る 3 波長以上の信号光が多重化されたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 3】 前記光ファイバの零分散波長は 1610 nm 以上であり、前記所定の信号光波長は 1550 nm 近傍であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 4】 前記所定の信号光波長における前記光ファイバの実効断面積は $60 \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 5】 前記光ファイバの 2 m カットオフ波長は 1600 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 6】 前記所定の信号光波長における前記光ファイバの波長分散値は、 -16 ps/nm/km 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 7】 所定の信号光波長範囲において、前記光ファイバの波長分散値が -16 ps/nm/km 以上 0 ps/nm/km 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 8】 前記直接変調光源の出力端において、前記所定の信号光波長をもつ前記信号光の α パラメータの値は 1.0 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 9】 前記所定の信号光波長において、前記光ファイバの非線形定数を γ とし、前記光ファイバに入力する前記信号光のパワーを P_{in} としたとき、次式：

$$\gamma P_{in} > 1.51 \times 10^{-6} / m$$

が成立することを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 10】 前記信号光のビットレートを B (Gb/s) としたとき、前記所定の信号光波長において、前記信号光の送信端から受信端までの累積波長分散値が $-80000/B^2$ (ps/nm) 以上 0 (ps/nm) 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【請求項 11】 前記中継区間の長さは $75 km$ 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 光伝送システムは、多波長の信号光を多重化して光ファイバ伝送路により伝送するものであり、大容量の情報を高速に長距離に渡って伝送することが可能である。近年では、光伝送システムにおいて、更なる高速大容量化及び長距離化の要求が高まりつつある。しかし、高速大容量化のためにビットレートを高くすればシステムの分散耐力が低下してしまう。一方、長距離化のために光ファイバ伝送路を長くすれば伝送路全体の累積波長分散の絶対値が増大し、信号光の波形劣化につながってしまう。

また、近年では、光伝送システムの低コスト化の要求も高まっている。そのため、信号光の光源としては、外部変調器を必要としない直接変調光源が用いられることが多い。しかし、直接変調光源を用いた場合には、直接変調による正のチャープが信号光に生じるため、信号光に対する累積波長分散の影響が強くなり、

信号光の波形劣化が増大してしまう。これに対し、直接変調光源を用いた光伝送システムにおいては、光ファイバ伝送路として負分散ファイバを用いることにより、正分散ファイバを用いた場合に比して伝送特性の向上を望めることがわかっている（例えば、非特許文献 1 ～ 3 参照）。

【0 0 0 3】

【非特許文献 1】

Optics Letters, Vol. 13, 1988, p. 1035

【非特許文献 2】

ECOC2000, Vol. 1, p.97

【非特許文献 3】

OFC2002, WA2

【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、直接変調光源を用いた従来の光伝送システムは、負分散ファイバが用いられたものであっても、狭い信号光波長範囲（例えば、1 5 5 0 n m 帯）における使用を前提として設計されていた。例えば、非特許文献 3 に記載された光ファイバでは、分散スロープの絶対値が大きいため、各波長間の分散値の差が大きく、好適に使用できる信号光波長が狭い範囲に限定されてしまう。信号光波長範囲を広げることができれば、伝送チャネル数を増やし、更なる高速大容量な光伝送を期待することができる。特に、多波長の信号光の波長間隔が比較的広い C W D M (Coarse-WDM) 光伝送を行う場合には、信号光波長範囲が広いことが肝要となる。

そこで、本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、直接変調光源を用いた光伝送を、広帯域で好適に行うことができる光伝送システムを提供することを目的とする。

【0 0 0 5】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明による光伝送システムは、直接変調により信号光を生成し、生成した信号光を出力する直接変調光源と、中継区間における

主たる光伝送路を構成し、直接変調光源が出力した信号光を伝送する光ファイバとを備え、光ファイバは、所定の信号光波長における波長分散値が負であり、且つ所定の信号光波長における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。

【0006】

この光伝送システムにおいて、中継区間の主たる光伝送路を構成する光ファイバの波長分散値は、所定の信号光波長において負である。したがって、この負分散によって、直接変調光源で生じる正のチャープが補償される。これにより、信号光の波形劣化が抑制される。また、光ファイバの分散スロープの絶対値は、所定の信号光波長において $0.05 \text{ ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。これにより、広い信号光波長範囲に渡って、光ファイバは略同じ負分散値をとることが可能である。このため、この光伝送システムによれば、直接変調光源を用いた波長多重伝送を、分散補償することなく広帯域で実現することができる。

【0007】

光ファイバによって伝送される信号光は、 40 nm 以上の波長帯域に渡る3波長以上の信号光が多重化されたものであることが好適である。この場合、広帯域での波長多重伝送を好適に行うことが可能な本光伝送システムの有用性が顕著となる。

【0008】

光ファイバの零分散波長は 1610 nm 以上であり、所定の信号光波長は 1550 nm 近傍であることが好適である。この場合、信号光波長を零分散波長から離すことができるため、四光波混合の発生を抑えることができる。

【0009】

所定の信号光波長における光ファイバの実効断面積は $60 \mu\text{m}^2$ 以下であることが好適である。この場合、所定の信号光波長における光ファイバの非線形屈折率 n_2 及び実効断面積 A_{eff} の比 (n_2/A_{eff}) が大きくなり、非線形性が強くなる。これにより、光ファイバの自己位相変調 (SPM: Self Phase Modulation) による負のチャープが、直接変調による正のチャープを補償する効果が増大する。

【0010】

光ファイバの2mカットオフ波長は1600nm以下であることが好適である。この場合、数km伝送後の実効カットオフ波長は十分に短くなるため、信号光がマルチモード伝送になるのを抑制することができる。

【0011】

所定の信号光波長における光ファイバの波長分散値は、 -16 ps/nm/km 以上であることが好適である。この場合、光ファイバの累積分散値が小さく抑えられるので、信号光の伝送距離をより長くすることができる。

【0012】

所定の信号光波長範囲において、光ファイバの波長分散値が -16 ps/nm/km 以上 0 ps/nm/km 以下であることが好適である。この場合、所定の信号光波長範囲内にある全ての信号光を好適に長距離伝送することができる。

【0013】

直接変調光源の出力端において、所定の信号光波長をもつ信号光の α パラメータの値は1.0以上であることを特徴としてもよい。 α パラメータの値が1.0以上となる程度に直接変調光源の消光比を高くとった場合であっても、光ファイバの負分散によって直接変調光源で生じる正のチャープが十分に補償される。

【0014】

所定の信号光波長において、光ファイバの非線形定数を γ とし、光ファイバに入力する信号光のパワーを P_{in} としたとき、次式：

$$\gamma P_{in} > 1.51 \times 10^{-6} / \text{m}$$

が成立することが好適である。この場合、光ファイバの非線形性が強くなることにより、光ファイバの自己位相変調による負のチャープが、直接変調による正のチャープを補償する効果が増大する。

【0015】

信号光のビットレートを $B \text{ (Gb/s)}$ としたとき、所定の信号光波長において、信号光の送信端から受信端までの累積波長分散値が $-80000/B^2 \text{ (ps/nm)}$ 以上 0 (ps/nm) 以下であることを特徴とする。この場合、信号光を好適に長距離伝送することができる。

【0016】

中継区間の長さは75km以上であることが好適である。中継区間の長さを大きくとれば、システム全体における中継区間の総数を減らすことができる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0018】

図1は、本発明による光伝送システムの一実施形態を示す概略構成図である。光伝送システム1は、送信部10、伝送部20、及び受信部30が順に接続されて構成されており、送信部10が出力した信号光を伝送部20により受信部30へと伝送するものである。

【0019】

送信部10は、 n (n は2以上の整数) 個の直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ 、及び合波器12を有する。直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ は、直接変調により信号光を生成し、生成した信号光を出力する。また、各直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ が生成・出力する信号光は、互いに異なる波長をもつ。例えば、 $n=3$ の場合、直接変調光源 $S_1 \sim S_3$ が出力する信号光の波長(信号光波長)を、それぞれ1530nm、1550nm、及び1570nmとすることができる。一方、合波器12は、直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ のそれぞれと接続されており、各直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ が出力した信号光を多重化し、多重化した信号光を送信する。

【0020】

送信部10には、伝送部20が接続されている。伝送部20は、 m (m は2以上の整数) 本の光ファイバ $F_1 \sim F_m$ 、及び $(m-1)$ 個の中継器 $R_1 \sim R_{m-1}$ を有する。光ファイバ $F_1 \sim F_m$ は、送信部10から出力された信号光を伝送するものであり、中継器 $R_1 \sim R_{m-1}$ を介して縦列接続されている。すなわち、各光ファイバ $F_1 \sim F_m$ は、中継区間における光伝送路を構成している。ここで中継区間とは、送信部10から中継器 R_1 までの区間、各中継器 R_i ($i: 1$ 以上 $m-2$ 以下の整数) から隣り合う中継器 R_{i+1} までの区間、及び中継器 R_{m-1} から受信部30

までの区間のそれぞれをいう。また、各中継器 $R_1 \sim R_{m-1}$ は、送信部 10 側の光ファイバ $F_1 \sim F_m$ から入力された信号光を増幅し、増幅した信号光を受信部 30 側の光ファイバ $F_1 \sim F_m$ へと出力する。

【0021】

ここで、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長における波長分散値が負であり、且つその信号光波長における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるものが用いられる。所定の信号光波長とは、例えば 1550 nm である。

【0022】

伝送部 20 には、受信部 30 が接続されている。受信部 30 は、分波器 32、及び n 個の光検出器 $D_1 \sim D_n$ を有する。分波器 32 は、伝送部 20 により伝送された信号光を受信する。この信号光は、上述のように、相異なる波長をもつ n 種類の信号光が多重化されたものであり、分波器 32 は入力した信号光を波長毎に分離し、分離した信号光を出力する。また、分波器 32 には、光検出器 $D_1 \sim D_n$ がそれぞれ接続されている。光検出器 $D_1 \sim D_n$ は、分波器 32 が分離・出力した信号光を検出する。すなわち、光検出器 $D_1 \sim D_n$ が検出する信号光は、それぞれ直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ が出力する信号光に対応し、互いに異なる波長をもつものである。

【0023】

上記構成の光伝送システム 1 は、次のように動作する。送信部 10 において、直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ から出力された信号光は、合波器 12 によって波長多重化された後、伝送部 20 へと送信される。伝送部 20 において、信号光は、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ によって各中継区間を伝送される。またこのとき、信号光は、隣接する中継区間どうしの間において、中継器 $R_1 \sim R_{m-1}$ によって増幅を受ける。伝送部 20 を伝送された信号光は、受信部 30 によって受信される。受信部 30 において、信号光は、分波器 32 によって波長毎に分離される。分離された信号光は、それぞれ光検出器 $D_1 \sim D_n$ によって検出される。

【0024】

光伝送システム 1 の効果を説明する。光伝送システム 1 において、各中継区間

の光伝送路を構成する光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の波長分散値は、所定の信号光波長において負である。したがって、この負分散によって、直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ で生じる正のチャープが補償される。これにより、信号光のパルスは圧縮され、信号光の波形劣化が抑制される。このため、受信部30における信号光の受信感度が向上する。また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の分散スロープの絶対値は、上記所定の信号光波長において $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である。これにより、広い信号光波長範囲に渡って、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ は略同じ負分散値をとることが可能である。このため、光伝送システム1によれば、直接変調光源を用いた波長多重伝送を、分散補償することなく広帯域で実現することができる。また、外部変調器及び分散補償器の何れも設ける必要がないため、光伝送システム1は低コストである。

【0025】

特に、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長における分散スロープの絶対値が、より好ましくは $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下、さらに好ましくは $0.01 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるものを用いるとよい。この場合、波長多重伝送をより広帯域で好適に行うことができる。例えば、分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の場合、 100 nm 以上の帯域の信号光を伝送することが可能である。また、分散スロープの絶対値が $0.01 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の場合、 200 nm 以上の帯域の信号光を伝送することが可能である。

【0026】

ここで、上記の所定の信号光波長を 1550 nm 近傍とした場合、他の波長に比して信号光を低損失で伝送することができる。また、この場合において、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ として零分散波長が 1610 nm 以上のものを用いれば、信号光波長を零分散波長から離すことができるため、四光波混合の発生を抑えることができる。

【0027】

また、 1530 nm 、 1550 nm 、及び 1570 nm の組み合わせのように、 40 nm 以上の帯域に渡る3波長以上の信号光を用いる場合には、上述のよう

に広帯域での波長多重伝送を好適に行うことができる本光伝送システム 1 が特に有用となる。さらに、1510 nm 以下から 1590 nm 以上にまで渡る波長範囲の信号光を用いる場合、光伝送システム 1 がより有用である。また、1550 nm 近傍の波長、及び 1400 nm 以下の波長をもつ信号光を用いる場合、光伝送システム 1 が殊に有用である。

【0028】

また、各中継区間の長さは、好ましくは 75 km 以上、より好ましくは 100 km 以上にするといよい。このように中継間隔を大きくとれば、中継器 $R_1 \sim R_{m-1}$ の数を減らすことができるので、光伝送システム 1 を簡易且つ低コストに構築することが可能となる。しかも、光伝送システム 1 においては、上述のように、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の負分散によって直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ で生じるチャープが補償されるため、中継間隔を大きくとっても信号光を好適に伝送することができる。

【0029】

なお、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長における実効断面積 A_{eff} が、好ましくは $60 \mu m^2$ 以下、より好ましくは $50 \mu m^2$ 以下であるものを用いるといよい。この場合、上記信号光波長における光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の非線形屈折率 n_2 及び実効断面積 A_{eff} の比 (n_2/A_{eff}) が大きくなり、非線形性が強くなる。これにより、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の自己位相変調による負のチャープが、直接変調による正のチャープを補償する効果が増大する。

【0030】

また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長における非線形定数を γ とし、入力される信号光のパワーを P_{in} としたとき、次式：

$$\gamma P_{in} > 1.51 \times 10^{-6} / m$$

が成立するものを用いることが好ましい。この場合にも、非線形性が強くなることにより、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の自己位相変調による負のチャープが、直接変調による正のチャープを補償する効果が増大する。

【0031】

また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、2 m カットオフ波長が 1600 nm 以下

のものをを用いることが好ましい。この場合、数 1 0 k m 伝送した後であっても、信号光がマルチモード伝送になるのを防ぐことができる。

【0 0 3 2】

また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長における波長分散値が、好ましくは -16 ps/nm/km 以上、より好ましくは -8 ps/nm/km 以上、さらに好ましくは -4 ps/nm/km 以上のものをを用いるとよい。これらの場合、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の累積分散値が小さく抑えられるので、信号光の伝送距離をより長くすることができる。

【0 0 3 3】

また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長範囲における波長分散値が、好ましくは -16 ps/nm/km 以上 0 ps/nm/km 以下、より好ましくは -8 ps/nm/km 以上 0 ps/nm/km 以下であるとよい。これらの場合、上記所定の信号光波長範囲内にある全ての信号光を好適に長距離伝送することができる。さらに、上記所定の信号光波長範囲内にある全ての信号光の波長分散値が -16 ps/nm/km 以上 -2 ps/nm/km 以下であることがより好ましい。この場合、信号光間の非線形相互作用による伝送劣化を回避することができる。

【0 0 3 4】

ここで、上記所定の信号光波長範囲は、例えば $1400 \text{ nm} \sim 1600 \text{ nm}$ である。この場合、 200 nm という広帯域にも関わらず、この範囲内の全ての信号光を好適に長距離伝送することができる。さらに、上記所定の信号光波長範囲は、 $1300 \text{ nm} \sim 1600 \text{ nm}$ であってもよい。この場合、 300 nm という超広帯域にも関わらず、この範囲内の全ての信号光を好適に長距離伝送することができる。

【0 0 3 5】

また、直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ の出力端において、所定の信号光波長をもつ信号光の α パラメータの値は 1. 0 以上であってもよい。光伝送システム 1 においては、 α パラメータの値が 1. 0 以上となる程度に直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ の消光比を高くとっても、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の負分散によって直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ で

生じた正のチャープが十分に補償される。さらに、直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ の出力端において、所定の信号光波長をもつ信号光の α パラメータの値は 3. 0 以上であってよい。この場合、直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ の消光比をより高くとることができる。

【 0 0 3 6 】

また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、信号光のビットレートを B ($G b / s$) としたとき、所定の信号光波長において、伝送部 2 0 全体の累積波長分散値が、 $-80000 / B^2$ ($p s / n m$) 以上 0 ($p s / n m$) 以下であることが好ましい。この場合、信号光を好適に長距離伝送することができる。さらに、所定の信号光波長において、伝送部 2 0 全体の累積波長分散値が、 $-20000 / B^2$ ($p s / n m$) 以上 0 ($p s / n m$) 以下であるものを用いる場合、十分な伝送マージンをとった上で、信号光を好適に長距離伝送することができる。

【 0 0 3 7 】

また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、波長 1 3 8 0 $n m$ における伝送損失が、波長 1 3 1 0 $n m$ における伝送損失よりも低いものを用いることが好ましい。また、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ の波長 1 3 8 0 $n m$ における OH 吸収は略 0 であることが好ましい。これらの場合、1 3 8 0 $n m$ 近傍の波長をもつ信号光であっても、好適に伝送することができる。このため、フルスペクトル (1 3 0 0 $n m \sim 1 6 0 0 n m$) での CWDM 伝送が可能となる。また、1 3 8 0 $n m$ 帯での DWDM (Dense-WDM) 伝送も可能となる。さらに、S バンド (1 4 6 0 $n m \sim 1 5 3 0 n m$) での伝送において信号光をラマン増幅する場合には、1 3 8 0 $n m$ 付近の波長をもつ励起光を効率良く供給することが可能となる。

【 0 0 3 8 】

ところで、波長 1 3 8 0 $n m$ における伝送損失が波長 1 3 1 0 $n m$ における伝送損失よりも低い光ファイバとしては、例えば Z W P F (Zero Water Peak Fiber) がある。図 2 は、Z W P F 及び従来の S M F (Single Mode Fiber) の損失スペクトルを示すグラフである。グラフの横軸は波長 ($n m$) を表し、縦軸は光ファイバの単位長さあたりの損失 ($d B / k m$) を表す。グラフにおいて、曲線 c 1 及び曲線 c 2 は、それぞれ Z W P F 及び従来の S M F の損失スペクトルである

。なお、曲線 c 2 は、従来の NZDSF (Non-Zero Dispersion Shift Fiber) の損失スペクトルとも一致する。

【0039】

曲線 c 2 からわかるように、従来の SMF 又は NZDSF では 1380 nm 付近において大きな損失のピークが現れる。このピークは、OH 基が光を吸収することに起因するものである。一方、曲線 c 1 からわかるように、ZWPF では 1380 nm 付近においてもピークが現れることがない。このため、ZWPF においては、波長 1380 nm における伝送損失が波長 1310 nm における伝送損失よりも低くなる。

【0040】

例えば、1300 nm から 1600 nm までの波長範囲において 20 nm 間隔で信号光波長を選択する場合を考える。このとき、図 2 において矢印 A x で示すように、最大で 16 種類の信号光波長を用いることが可能である。しかし、従来の従来の SMF 及び NZDSF では、大きな損失ピークのために 1380 nm 付近の信号光波長、具体的には特に矢印 a x で示す 1360 nm ~ 1440 nm にある 5 種類の信号光波長を用いることができない。これに対し、ZWPF によれば、16 種類の信号光波長を全て用いることが可能であるため、従来の SMF 又は NZDSF に比して 30 % 以上も伝送容量を増やすことができる。

【0041】

図 3 は、伝送ペナルティと直接変調光源の消光比との関係を求めた実験結果を示すグラフである。グラフの横軸は消光比 (dB) を表し、縦軸は伝送ペナルティ (dB) を表す。ここで、直接変調光源として半導体レーザ (LD) を用いた。この LD におけるビットレートは 2.5 Gb/s である。LD の変調条件等のパラメータを調整することにより、消光比の値を変化させた。そして、それぞれの消光比の場合について、信号光を PIN フォトダイオードで検出することにより受信感度を測定した。このとき、PIN フォトダイオードを LD に対して直接に接続して、すなわち 'back-to-back' で信号光の検出を行った。

【0042】

このようにして測定した受信感度を伝送ペナルティに換算したものをグラフ中

に丸印 p 1 で示している。なお、丸印 p 1 で示す伝送ペナルティは、消光比が 17 dB のときの伝送ペナルティを基準 (0 dB) とした相対値である。この結果からは、消光比が高くなるにつれて、伝送ペナルティが小さくなり受信感度が向上することがわかる。一方、LD と PIN フォトダイオードとの間において 1600 ps/nm の分散を付与した上で、上記と同様にして求めた伝送ペナルティをグラフ中に × 印 p 2 で示す。この場合、消光比が高くなるにつれて、伝送ペナルティが大きくなり受信感度が低下する。これは、消光比を高くするように LD の駆動条件を調整したことにより、発生するチャープ量が増大し、分散耐力が劣化したことが原因と考えられる。

【0043】

以上より、光伝送システム 1 のように光伝送路を構成する光ファイバの分散値を適当に制御することは、分散耐力の劣化を抑え、受信感度の向上を図るために非常に有意であると言える。

【0044】

図 4 は、伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。グラフの横軸は伝送距離 (km) を表し、縦軸は伝送ペナルティ (dB) を表す。光源には図 3 と同じ LD をモデルとして用い、LD の駆動条件としては、変調用のバイアス電流 I_{bias} を $I_{bias} = 1.3 \times I_{th}$ (I_{th} : LD の発振閾値電流) とし、変調電流 I_m の変調振幅を $0.9 \times I_{th}$ 、出力パワーを 4.5 mW とした。このときの消光比は 6 dB であった。また、光伝送路として用いた光ファイバについては、伝送損失が 0.2 dB/km、分散スロープが 0 ps/nm²/km、非線形屈折率 n_2 を 0 とした。なお、光増幅器は雑音フリーとし、ポスト及びプリアンプのみ用いた。

【0045】

グラフ中の折線 11 ~ 16 は、それぞれ波長分散値が下記の値をもつ光ファイバを用いた場合のシミュレーション結果を示している。なお、折線 11 ~ 16 における伝送ペナルティの値は、back-to-back で測定したときの受信感度に対して求めたものである。

11 : +32 ps/nm/km

l 2 : + 1 6 p s / n m / k m

l 3 : + 8 p s / n m / k m

l 4 : - 8 p s / n m / k m

l 5 : - 1 6 p s / n m / k m

l 6 : - 3 2 p s / n m / k m

【0 0 4 6】

折線 l 1 ~ l 3 からわかるように、波長分散値が正である光ファイバを用いた場合、伝送距離が長くなるにつれて伝送ペナルティが累積的に増大してしまうことがわかる。ここで、各波長分散値の光ファイバにおいて伝送ペナルティが 1 d B に達する伝送距離を伝送可能距離とする。グラフより、光ファイバの波長分散値 (p s / n m / k m) が 3 2 、 1 6 、 及び 8 の場合の伝送可能距離は、それぞれ約 9 0 k m 、 約 1 8 0 k m 、 及び 約 3 6 0 k m である。

【0 0 4 7】

一方、折線 l 4 , l 5 からわかるように、波長分散値 (p s / n m / k m) が - 8 及び - 1 6 の場合には、 4 0 0 k m を超える伝送可能距離が達成される。しかも、 4 0 0 k m の伝送後においても伝送ペナルティは負であり、したがって、伝送特性が劣化するどころか、むしろ改善していることがわかる。このように伝送特性が改善するのは、直接変調により発生する正のチャープを光ファイバの負分散が補償することによって、信号光のパルスが圧縮されるためである。しかし、波長分散値が負であっても、その絶対値が大きすぎる場合には、伝送可能距離が短くなってしまう。実際、折線 l 6 からわかるように、波長分散値が - 3 2 p s / n m / k m の場合の伝送可能距離は約 3 2 0 k m であった。これは、負分散であっても累積分散の絶対値が大きくなりすぎれば、伝送特性が劣化するためである。

【0 0 4 8】

したがって、波長分散値が - 3 2 p s / n m / k m 前後の光ファイバは、伝送距離が 3 0 0 k m 未満の短距離伝送を行う光伝送システムへの適用に限定される。一方、 - 1 6 p s / n m / k m 以上の負分散をもつ光ファイバは、 3 0 0 k m 以上の長距離伝送を行う光伝送システムにおいても、伝送路として好適に用いる

ことができる。

【0049】

図5は、図4と異なるLDの駆動条件下で伝送ペナルティと伝送距離との関係性を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。図5においてLDの駆動条件は、変調用のバイアス電流 I_{bias} を $I_{\text{bias}} = 1.1 \times I_{\text{th}}$ (I_{th} : LDの発振閾値電流) とし、変調電流 I_m の変調振幅を $1.9 \times I_{\text{th}}$ 、出力パワーを 6.2 mW とした。このときの消光比は 17 dB であった。その他の条件は、図4と同様である。また、グラフ中の折線 $m1 \sim m4$ は、それぞれ波長分散値が下記の値をもつ光ファイバを用いた場合のシミュレーション結果を示している。

$m1: +16 \text{ ps/nm/km}$

$m2: +8 \text{ ps/nm/km}$

$m3: -8 \text{ ps/nm/km}$

$m4: -16 \text{ ps/nm/km}$

【0050】

グラフより、光ファイバの波長分散値 (ps/nm/km) が 16 及び 8 の場合の伝送可能距離は、それぞれ約 70 km 、及び約 140 km である。一方、波長分散値 (ps/nm/km) が -8 及び -16 の場合の伝送可能距離は、それぞれ約 400 km 、及び約 200 km であり、図4の場合に比して短くなっていることがわかる。これは、上述のように、消光比を高くすることにより分散耐力が劣化したことが原因であると考えられる。

【0051】

したがって、図5のLD駆動条件下では、波長分散値が -16 ps/nm/km であっても絶対値が大きすぎる。一方、 -8 ps/nm/km 以上の負分散をもつ光ファイバは、 300 km 以上の長距離伝送を行う光伝送システムにおいても、伝送路として好適に用いることができる。さらに、 -4 ps/nm/km 以上の負分散をもつ光ファイバであれば、 400 km 以上の伝送が期待できる。

【0052】

図6は、非線形の強さが異なる複数の光ファイバについて伝送ペナルティと伝送距離との関係性を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。LDの駆動

条件は図5と同様である。また、光ファイバの波長分散値は -16 ps/nm/km である。折線 $j1 \sim j3$ は、非線形屈折率及び実効断面積の比 (n_2/A_{eff}) がそれぞれ下記の値をもつ光ファイバを用いた場合のシミュレーション結果を示している。

$j1: 0/W$

$j2: 15 \times 10^{-10}/W$

$j3: 3.3 \times 10^{-10}/W$

【0053】

グラフより、 n_2/A_{eff} の値が大きくなるにつれて、すなわち非線形性が強くなるにつれて伝送可能距離が長くなり、伝送特性が改善することがわかる。これは、上述のように、自己位相変調による負のチャープが、直接変調による正のチャープを補償するためであると考えられる。

【0054】

なお、実際のメトロシステムにおいては、1信号光波長あたりの最大入力パワーは6 dBm程度であり、光ファイバの非線形屈折率 n_2 は $3.0 \times 10^{-20} (\text{m}^2/\text{W})$ 程度が妥当な値であると考えられる。よって、光伝送路を構成する光ファイバの実効断面積 A_{eff} が $60 \mu\text{m}^2$ 以下であれば、 n_2/A_{eff} の値は $5.0 \times 10^{-10}/W$ 以上となるので、折線 $j3$ ($n_2/A_{\text{eff}} = 3.3 \times 10^{-10}/W$) で示す以上の優れた伝送特性が達成される。さらに、システムマージンを10%以上とることを考えた場合、 A_{eff} は $50 \mu\text{m}^2$ 以下であることが望ましい。この場合には、350 kmを超える光伝送を好適に行うことができる。

【0055】

図7は、図6と異なる尺度を用いて、非線形の強さが異なる複数の光ファイバについて伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。LDの駆動条件は図5と同様であり、光ファイバの波長分散値は -16 ps/nm/km である。折線 $k1, k2$ は、非線形係数 γ と光ファイバへの信号光の入力パワー P_{in} との積がそれぞれ下記の値をもつ光ファイバを用いた場合のシミュレーション結果を示している。なお、 $\gamma = (2\pi n_2)/(\lambda A_{\text{eff}})$ である。 λ は信号光波長であり、ここでは1550 nmとしている。

$k_1 : 0 / \text{m}$

$k_2 : 1.51 \times 10^{-6} / \text{m}$

【0056】

グラフより、図6の結果も考慮すると、 γP_{in} の値が $1.51 \times 10^{-6} / \text{m}$ 以上とすれば、メトロ系において長距離伝送とされる 250 km 以上の光伝送を実現することができる。

【0057】

図8は、図4と異なるLDの駆動条件下で伝送ペナルティと伝送距離との関係性を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。図8においてLDの駆動条件は、変調用のバイアス電流 I_{bias} を $I_{bias} = 1.65 \times I_{th}$ とし、変調電流 I_m の変調振幅を $0.95 \times I_{th}$ とした。このときの消光比は 4 dB であった。グラフ中の折線 h_1 、 h_2 は、それぞれ波長分散値が下記の値をもつ光ファイバを用いた場合のシミュレーション結果を示している。

$h_1 : -16 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$

$h_2 : -32 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$

【0058】

グラフより、波長分散値が $-32 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ であっても、伝送可能距離が 400 km を超えている。よって、変調条件を適当に調整することにより、 $-12800 \text{ ps} / \text{nm}$ の分散耐力を実現することが可能である。ここで、分散耐力は通常ビットレートの2乗に反比例するが、このことは直接変調においても成り立つと仮定する。すると、 $-12800 \text{ ps} / \text{nm}$ という分散耐力は、ビットレート B を用いて、一般に $-80000 / B^2 (\text{ps} / \text{nm})$ と表される。したがって、光伝送路全体の累積波長分散値が $-80000 / B^2 (\text{ps} / \text{nm})$ 以上 0 (ps / nm) 以下であれば、好適に光伝送を行うことができる。

【0059】

なお、本発明による光伝送システムは、上記実施形態に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、図1においては、各中継区間の光伝送路全体が光ファイバ $F_1 \sim F_m$ によって構成されているが、各中継区間の光伝送路の一部が光ファイバ $F_1 \sim F_m$ によって構成されていてもよい。また、図1において

直接変調光源及び光検出器の個数を表す n については、 $n = 1$ としてもよい。この場合、合波器 1 2 及び分波器 3 2 を設ける必要はない。同じく、図 1 において光ファイバの本数（中継区間の数）を表す m についても、 $m = 1$ としてもよい。この場合、中継器は不要である。

【0 0 6 0】

【発明の効果】

本発明による光伝送システムによれば、直接変調光源を用いた光伝送を、広帯域で好適に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明による光伝送システムの一実施形態を示す概略構成図である。

【図 2】

Z W P F 及び従来の S M F の損失スペクトルを示すグラフである。

【図 3】

伝送ペナルティと直接変調光源の消光比との関係を求めた実験結果を示すグラフである。

【図 4】

伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 5】

図 4 と異なる L D の駆動条件下で伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 6】

非線形の強さが異なる複数の光ファイバについて伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 7】

図 6 と異なる尺度を用いて、非線形の強さが異なる複数の光ファイバについて伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 8】

図 4 と異なる LD の駆動条件下で伝送ペナルティと伝送距離との関係を求めたシミュレーション結果を示すグラフである。

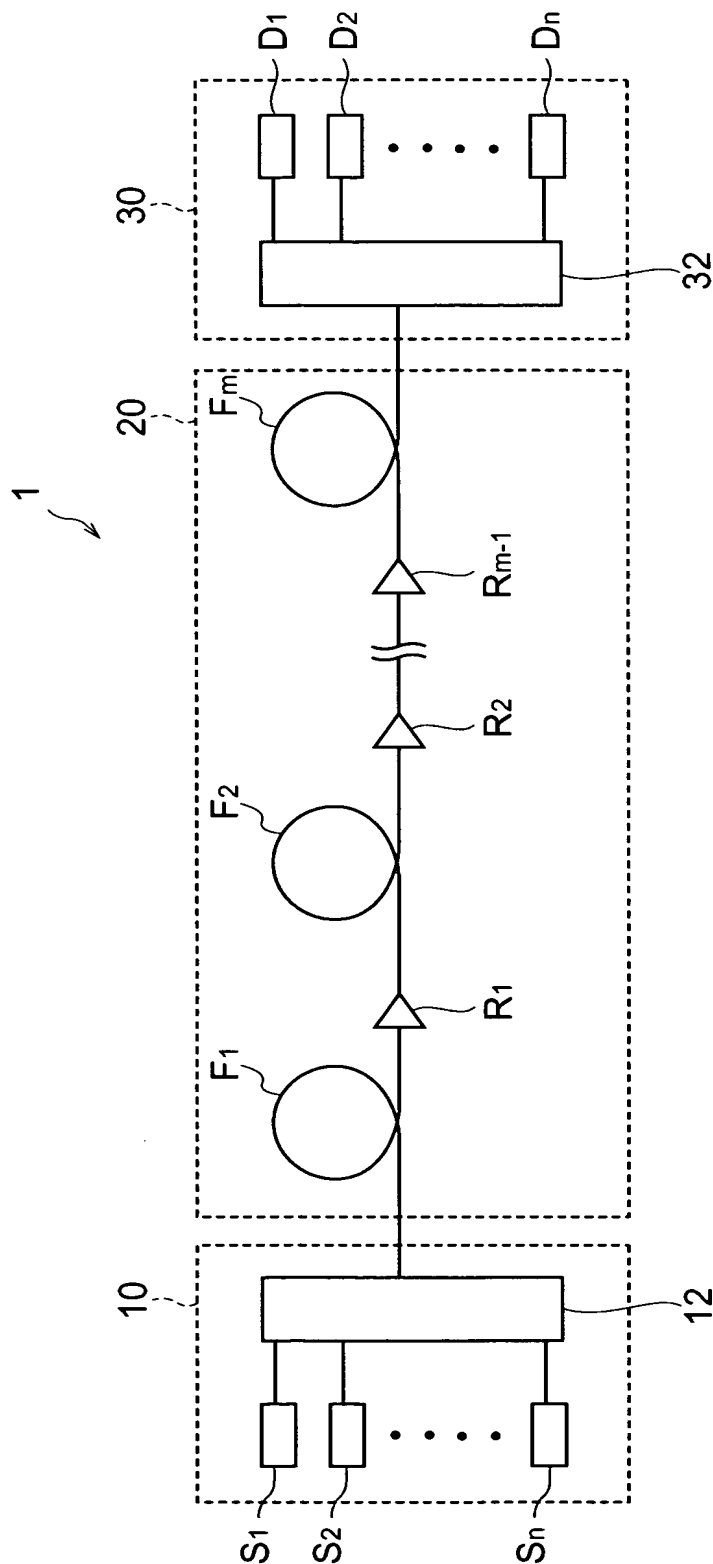
【符号の説明】

1 … 光伝送システム、1 0 … 送信部、1 2 … 合波器、2 0 … 伝送部、3 0 … 受信部、3 2 … 分波器、 $D_1 \sim D_n$ … 光検出器、 $F_1 \sim F_m$ … 光ファイバ、 $R_1 \sim R_{m-1}$ … 中継器、 $S_1 \sim S_n$ … 直接変調光源。

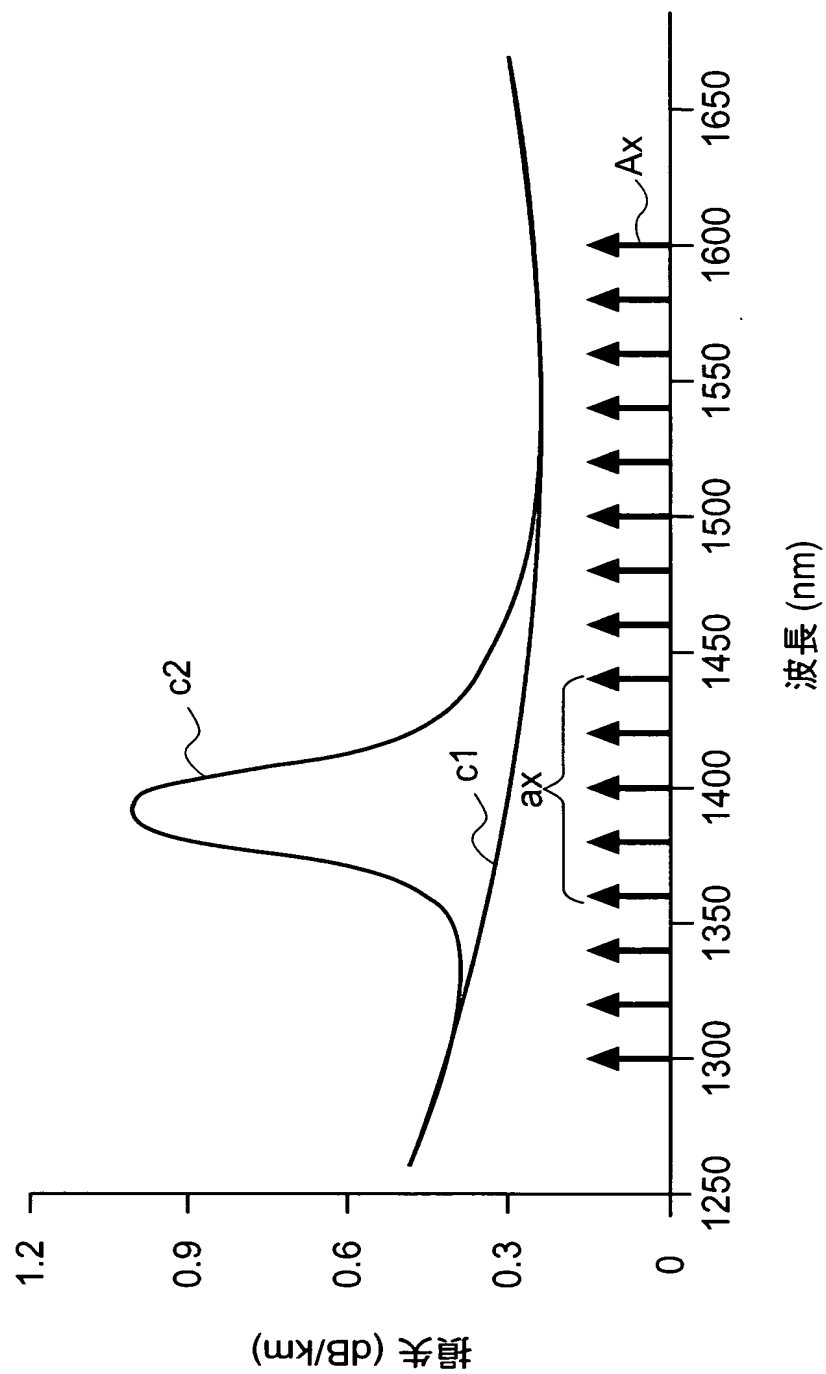
【書類名】

図面

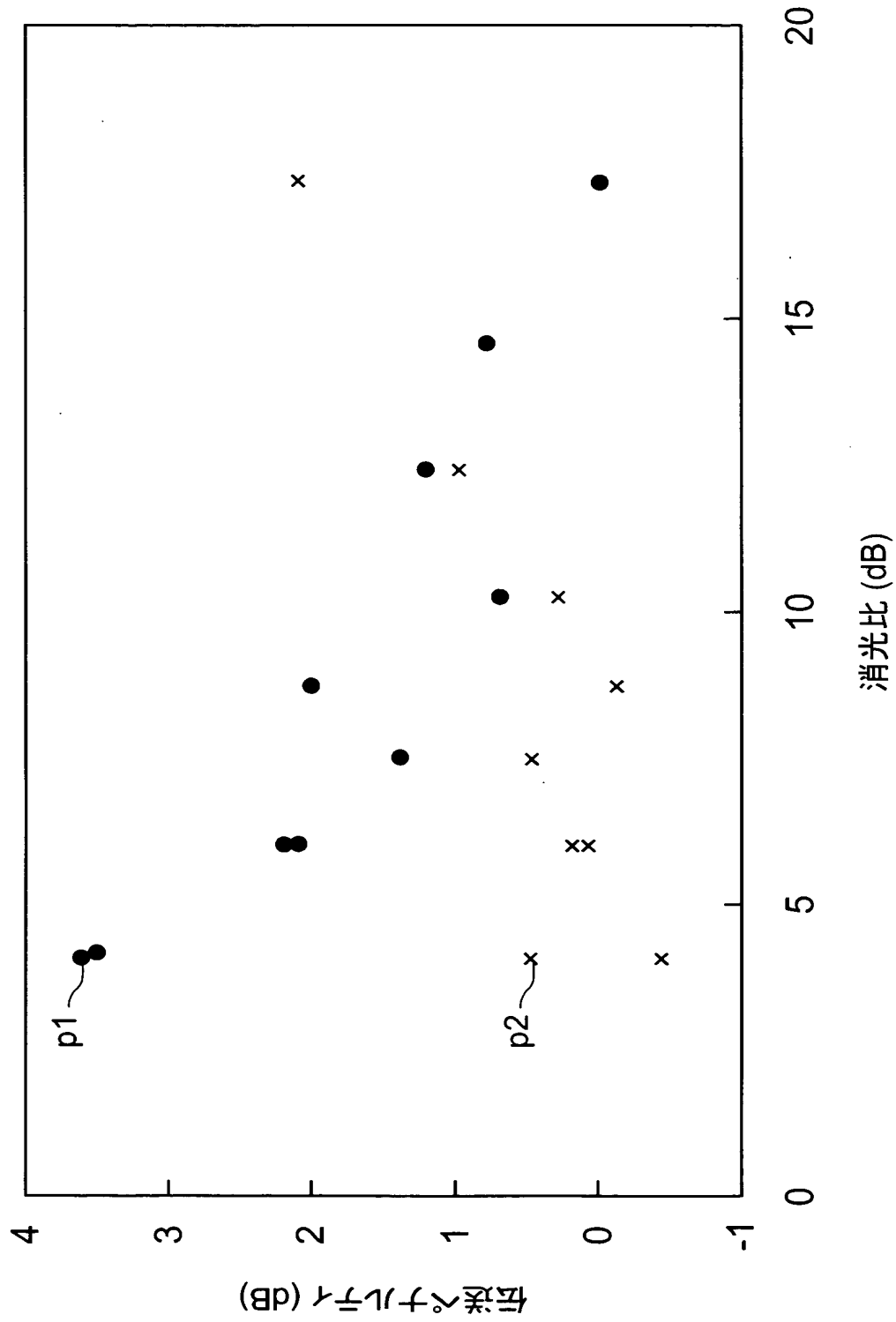
【図 1】



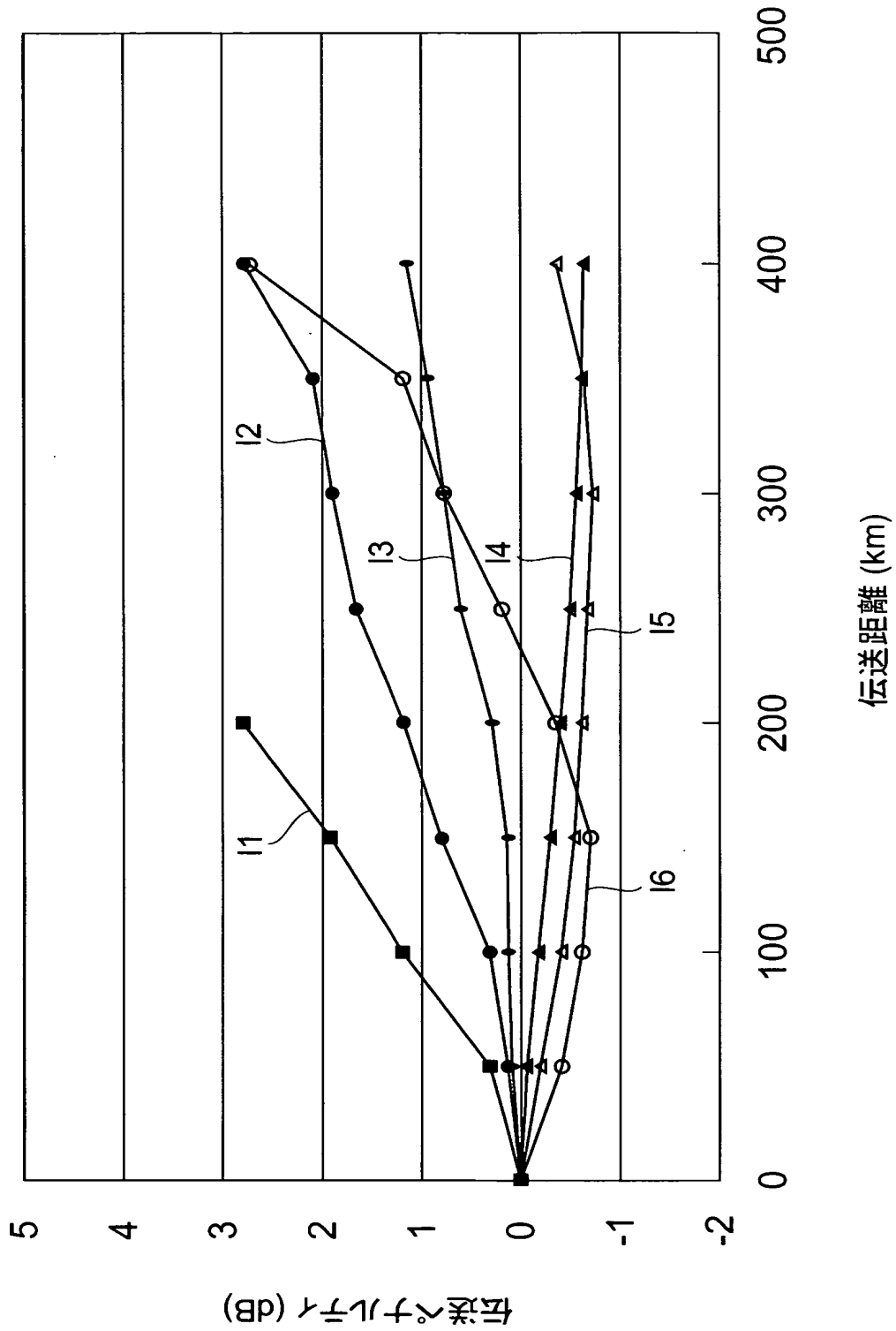
【図 2】



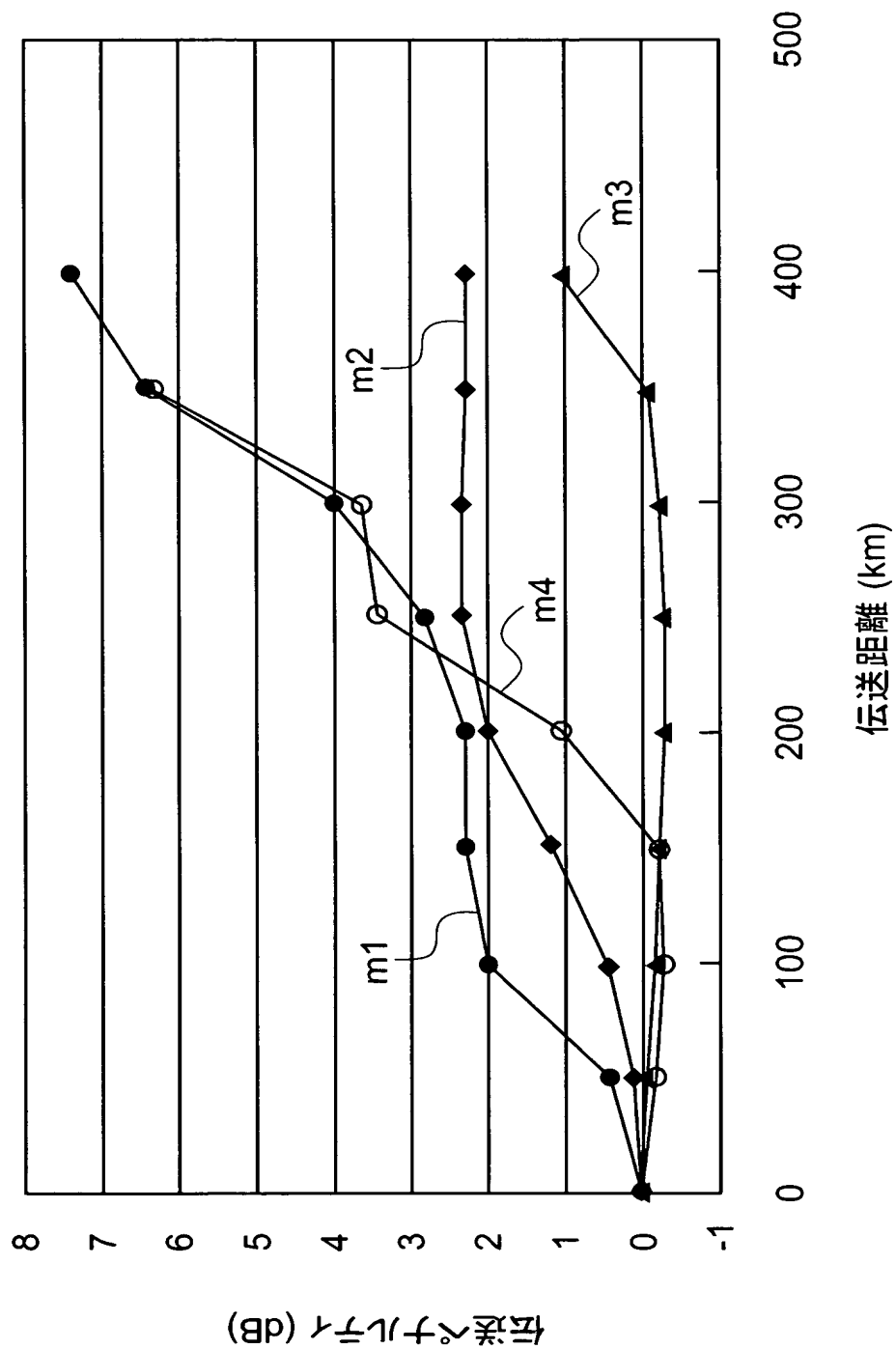
【図 3】



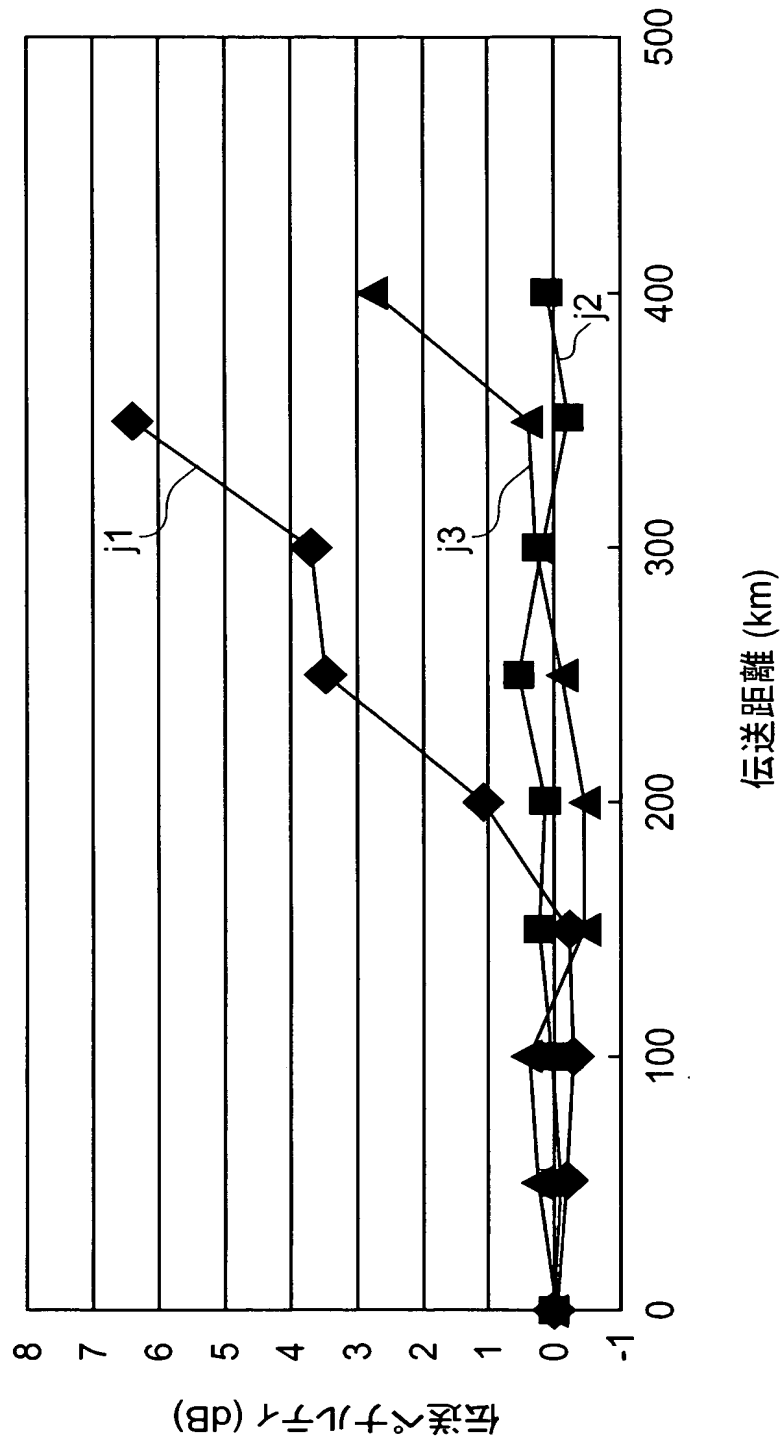
【図 4】



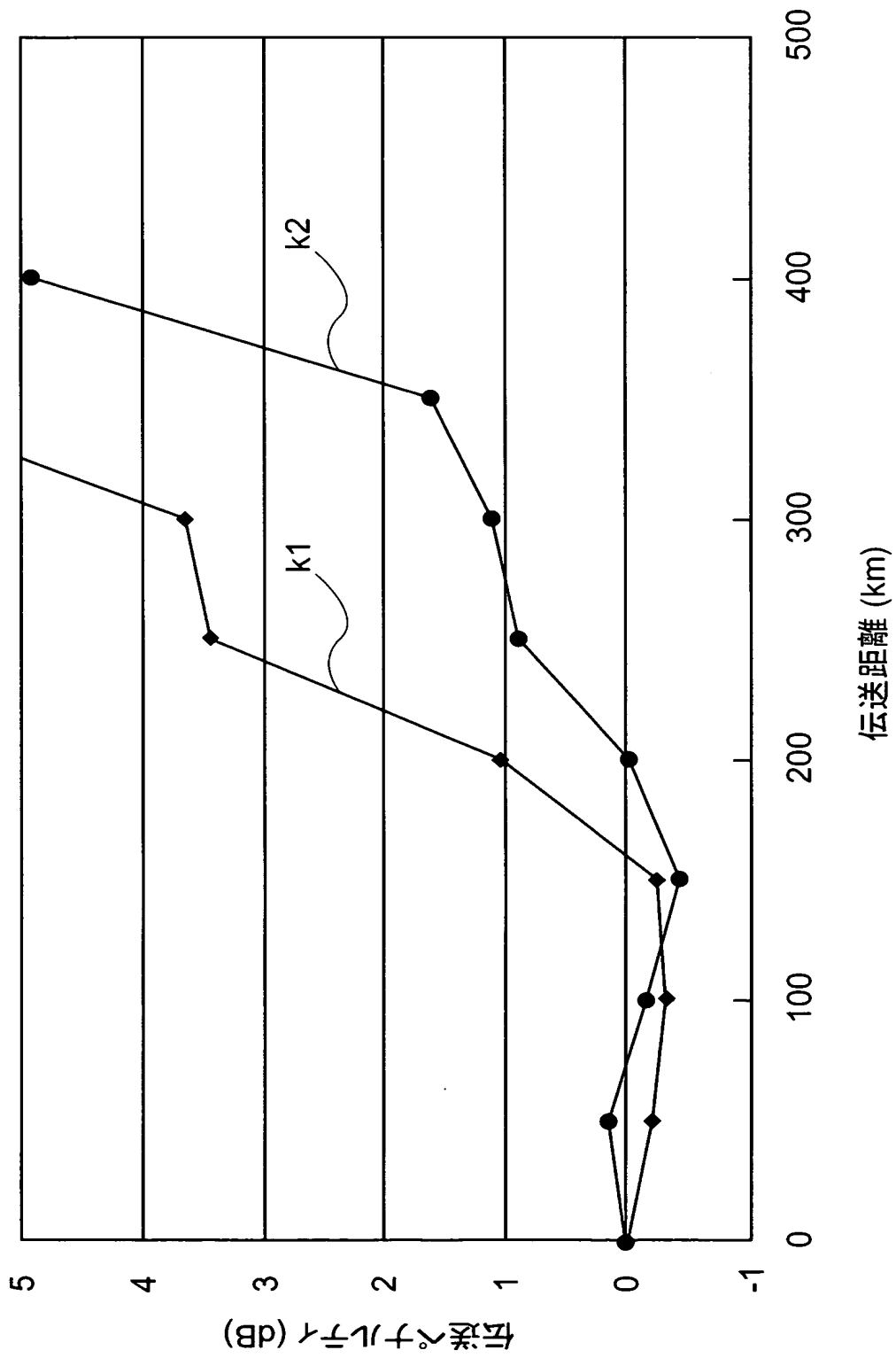
【図 5】



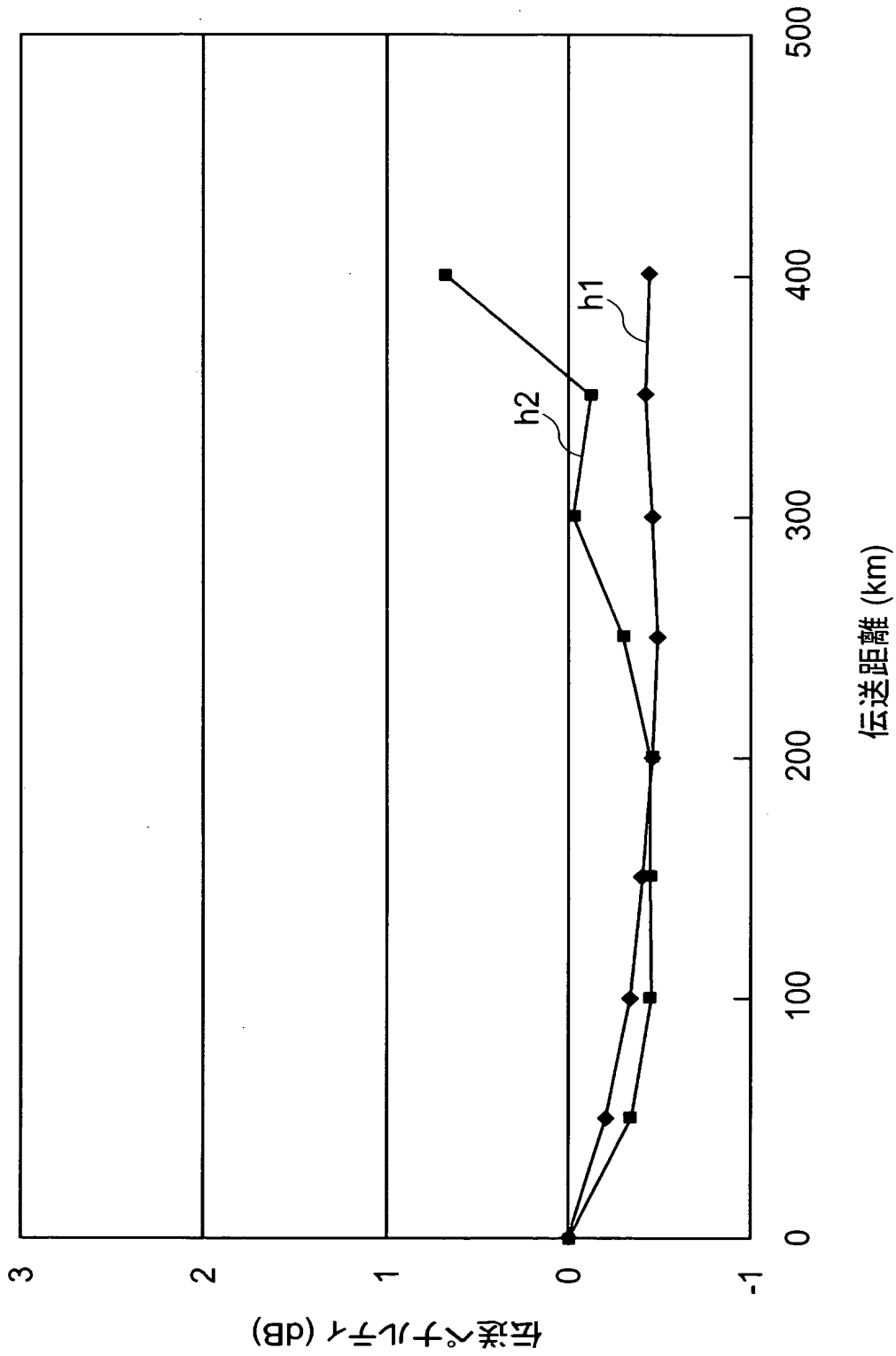
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 直接変調光源を用いた光伝送を、広帯域で好適に行うことができる光伝送システムを提供する。

【解決手段】 光伝送システム 1 は、送信部 1 0、伝送部 2 0、及び受信部 3 0 が順に接続されて構成されている。送信部 1 0 は、直接変調により信号光を生成し、生成した信号光を出力する直接変調光源 $S_1 \sim S_n$ を有する。伝送部 2 0 は、送信部 1 0 から出力された信号光を伝送する光ファイバ $F_1 \sim F_m$ を有する。ここで、光ファイバ $F_1 \sim F_m$ としては、所定の信号光波長における波長分散値が負であり、且つその信号光波長における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であるものが用いられる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 1 7 2 7 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号
氏 名	住友電気工業株式会社